

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-43223

(P2003-43223A)

(43) 公開日 平成15年2月13日 (2003.2.13)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
G 0 2 B 5/04		G 0 2 B 5/04	D 2 H 0 4 2
1/02		1/02	2 H 0 4 9
5/30		5/30	2 H 0 9 7
27/28		27/28	Z 2 H 0 9 9
G 0 3 F 7/20	5 0 2	G 0 3 F 7/20	5 0 2 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-230515(P2001-230515)

(22) 出願日 平成13年7月30日 (2001.7.30)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 白石 直正

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74) 代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

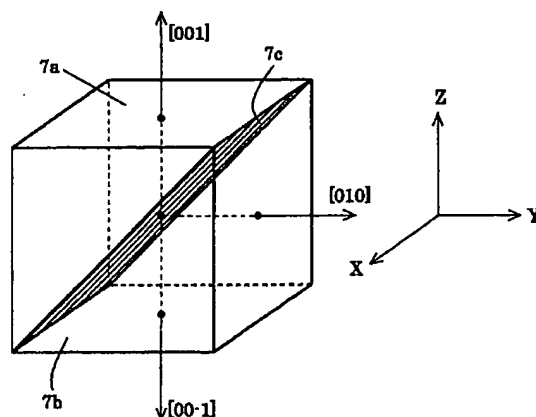
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 結晶材料で形成されたビームスプリッターおよび波長板、並びにこれらの結晶光学部品を備えた光学装置、露光装置並びに検査装置

(57) 【要約】

【課題】 たとえば蛍石のような複屈折性の結晶材料を用いても、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することのできるビームスプリッター。

【解決手段】 立方晶系に属する結晶で形成されたビームスプリッター。ビームスプリッターへの光束の入射方向およびビームスプリッターからの光束の射出方向が結晶の結晶軸  $[100]$  または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 立方晶系に属する結晶で形成されたビームスプリッターにおいて、  
前記ビームスプリッターへの光束の入射方向および前記ビームスプリッターからの光束の射出方向が、前記結晶の結晶軸〔100〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とするビームスプリッター。

【請求項2】 立方晶系に属する結晶で形成されたビームスプリッターにおいて、  
前記ビームスプリッターは、三角柱状の一对のプリズム部材を有し、  
一方のプリズム部材では、通過する光束の進行方向が前記結晶の結晶軸〔100〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定され、  
他方のプリズム部材では、通過する光束の進行方向が前記結晶の結晶軸〔111〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とするビームスプリッター。

【請求項3】 前記ビームスプリッターは、偏光ビームスプリッターであることを特徴とする請求項1または2に記載のビームスプリッター。

【請求項4】 前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載のビームスプリッター。

【請求項5】 立方晶系に属する結晶で形成された波長板において、  
前記波長板を通過する光束の進行方向が、前記結晶の結晶軸〔110〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とする波長板。

【請求項6】 前記光束の進行方向に沿って約6 cmの厚さを有し、  
約157 nmの波長を有する光束に対して1/4波長板として機能することを特徴とする請求項5に記載の波長板。

【請求項7】 前記光束の進行方向に沿って約12 cmの厚さを有し、  
約157 nmの波長を有する光束に対して1/2波長板として機能することを特徴とする請求項5に記載の波長板。

【請求項8】 前記光束の進行方向にほぼ垂直な入射面と、前記光束の進行方向に垂直な面に対して実質的に傾いた射出面とを有することを特徴とする請求項5に記載の波長板。

【請求項9】 前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることを特徴とする請求項5乃至8のいずれか1項に記載の波長板。

【請求項10】 請求項1乃至4のいずれか1項に記載のビームスプリッターおよび請求項5乃至9のいずれか

1項に記載の波長板のうちの少なくとも一方の結晶光学部品を備えていることを特徴とする光学装置。

【請求項11】 照明光の光路中に請求項5乃至9のいずれか1項に記載の波長板が配置されていることを特徴とする照明光学系。

【請求項12】 マスクを照明するための請求項11に記載の照明光学系と、  
前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項13】 マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系を検査する検査装置において、  
前記投影光学系に検査光を照射する照射光学系を備え、  
前記照射光学系は、請求項10に記載の光学装置を備えていることを特徴とする検査装置。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、結晶材料で形成されたビームスプリッターおよび波長板、並びにこれらの結晶光学部品を備えた光学装置に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に関連する光学系に好適な光学部品に関するものである。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路や液晶ディスプレイ等の電子デバイス（マイクロデバイス）の微細パターンの形成に際して、形成すべきパターンを4～5倍程度に比例拡大して描画したフォトマスク（レチクルとも呼ぶ）のパターンを、投影露光装置を用いてウエハ等の感光性基板（被露光基板）上に縮小露光転写する方法が用いられている。この種の投影露光装置では、半導体集積回路の微細化に対応するために、その露光波長が短波長側へシフトし続けている。

【0003】現在、露光波長はKrFエキシマレーザーの248 nmが主流となっているが、より短波長のArFエキシマレーザーの193 nmも実用化段階に入りつつある。さらに、波長157 nmのF<sub>2</sub>レーザーや波長126 nmのAr<sub>2</sub>レーザー等の、いわゆる真空紫外域と呼ばれる波長帯の光を供給する光源を使用する投影露光装置の提案も行なわれている。また、投影光学系の大開口数（NA）化によっても高解像度化が可能であるため、露光波長の短波長化のための開発だけでなく、より大きい開口数を有する投影光学系の開発もなされている。

【0004】なお、この種の投影光学系では、高解像度を実現するために、その残存収差が極めて小さく抑えられている必要がある。その目的のために、投影光学系の残存収差を計測するための検査光学系が必要であり、この検査光学系自体においても残存収差が極めて小さく抑

えられていることが要求されることは言うまでもない。また、半導体集積回路の性能の向上、特に動作速度の向上に関しては、回路内のパターンの寸法均一性が極めて重要である。パターン寸法を均一にするには露光量を均一にする必要があるため、レチクルに照明光を供給する照明光学系には極めて高い照度均一性が要求される。

【0005】このように波長の短い紫外域の露光光に対しては、透過率や均一性の良好な光学材料（レンズ材料）は限定される。ArFエキシマレーザーを光源とする投影光学系では、レンズ材料として合成石英ガラスも使用可能であるが、1種類のレンズ材料では色収差の補正を十分に行うことができないので、一部のレンズにフッ化カルシウム結晶（蛍石）が用いられる。一方、F<sub>2</sub>レーザーを光源とする投影光学系では、使用可能なレンズ材料は事実上フッ化カルシウム結晶（蛍石）に限定される。そして、検査光学系や照明光学系に使用可能なレンズの材料および透過性光学部品の材料についても、蛍石に限定されることになる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】最近、このように波長の短い紫外線に対しては、立方晶系であるフッ化カルシウム結晶（蛍石）においても、複屈折が生じることが報告されている。電子デバイスの製造に用いられる投影光学系のような超高精度の光学系においては、レンズ材料の複屈折に伴って生じる収差は致命的であり、複屈折の影響を実質的に回避したレンズ構成およびレンズ設計の採用が不可欠である。また、その投影光学系の残収差を計測するための検査光学系についても、複屈折の影響を実質的に回避した光学部品の使用およびレンズ構成の採用が不可欠である。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば蛍石のような複屈折性の結晶材料を用いても、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を確保することのできる、ビームスプリッターおよび波長板を提供することを目的とする。また、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有するビームスプリッターや波長板のような結晶光学部品を備えた光学装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、立方晶系に属する結晶で形成されたビームスプリッターにおいて、前記ビームスプリッターへの光束の入射方向および前記ビームスプリッターからの光束の射出方向が、前記結晶の結晶軸〔100〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とするビームスプリッターを提供する。

【0009】本発明の第2発明では、立方晶系に属する結晶で形成されたビームスプリッターにおいて、前記ビームスプリッターは、三角柱状の一対のプリズム部材を

有し、一方のプリズム部材では、通過する光束の進行方向が前記結晶の結晶軸〔100〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定され、他方のプリズム部材では、通過する光束の進行方向が前記結晶の結晶軸〔111〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とするビームスプリッターを提供する。

【0010】第1発明または第2発明の好ましい態様によれば、前記ビームスプリッターは、偏光ビームスプリッターである。また、前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることが好ましい。

【0011】本発明の第3発明では、立方晶系に属する結晶で形成された波長板において、前記波長板を通過する光束の進行方向が、前記結晶の結晶軸〔110〕または該結晶軸と光学的に等価な結晶軸とほぼ一致するように設定されていることを特徴とする波長板を提供する。

【0012】第3発明の好ましい態様によれば、前記光束の進行方向に沿って約6cmの厚さを有し、約157nmの波長を有する光束に対して1/4波長板として機能する。あるいは、前記光束の進行方向に沿って約12cmの厚さを有し、約157nmの波長を有する光束に対して1/2波長板として機能することが好ましい。

【0013】また、第3発明の好ましい態様によれば、前記光束の進行方向にほぼ垂直な入射面と、前記光束の進行方向に垂直な面に対して実質的に傾いた射出面とを有する。さらに、前記結晶はフッ化カルシウム結晶またはフッ化バリウム結晶であることが好ましい。

【0014】本発明の第4発明では、第1発明または第2発明のビームスプリッターおよび第3発明の波長板のうちの少なくとも一方の結晶光学部品を備えていることを特徴とする光学装置を提供する。

【0015】本発明の第5発明では、照明光の光路中に第3発明のいずれか1項に記載の波長板が配置されていることを特徴とする照明光学系を提供する。

【0016】本発明の第6発明では、マスクを照明するための第5発明の照明光学系と、前記マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0017】本発明の第7発明では、マスクに形成されたパターンの像を感光性基板上に形成するための投影光学系を検査する検査装置において、前記投影光学系に検査光を照射する照射光学系を備え、前記照射光学系は、第4発明の光学装置を備えていることを特徴とする検査装置を提供する。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の実施形態を、添付図面に基いて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる結晶光学部品を備えた検査装置の構成を概略的に示す図である。この検査装置は、例えば被検光学系の波面収差

を測定するものである。また、図2は、図1の被検光学系としての投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。まず、図2を参照して、露光装置の構成および動作について説明する。

【0019】図2に示す露光装置は、たとえばArFエキシマレーザーやF<sub>2</sub>レーザーのような光源21を備えている。光源21から供給された光束は、送光系22を経由して、照明光学系23に導かれる。照明光学系23は、図示した折り曲げミラー23aおよび23bや不図示のオブティカルインテグレータ（照度均一化素子）等からなり、レチクル（マスク）33をほぼ均一な照度で照明する。レチクル33は、たとえば真空吸着によりレチクルホルダー24に保持され、レチクルステージ25の作用によって移動可能に構成されている。

【0020】レチクル33を透過した光束は、投影光学系31を介して集光され、半導体ウエハ32のような感光性基板上に、レチクル33上のパターンの投影像を形成する。ウエハ32も、たとえば真空吸着によりウエハホルダー27に保持され、ウエハステージ28の作用によって移動可能に構成されている。こうして、ウエハ32をステップ移動させつつ一括露光を行うことにより、ウエハ32の各露光領域にレチクル33のパターン投影像を順次転写することができる。

【0021】また、投影光学系31に対してレチクル33およびウエハ32を相対移動させつつ走査露光（スキャン露光）を行うことにより、ウエハ32の各露光領域にレチクル33のパターン投影像を順次転写することも可能である。なお、実際の電子デバイスへの回路パターンの露光に際しては、前の工程で形成されたパターンの上に次の工程のパターンを正確に位置合わせして露光する必要があるため、露光装置にはウエハ32上の位置検出マークの位置を正確に検出するためのアライメント顕微鏡30が搭載されている。

【0022】光源21としてF<sub>2</sub>レーザーやArFエキシマレーザー（あるいは波長126nmのAr<sub>2</sub>レーザーなど）を用いる場合、送光系22、照明光学系23および投影光学系31の光路が、たとえば窒素やヘリウムのような不活性ガスでバージされている。特に、F<sub>2</sub>レーザーを用いる場合には、レチクル33、レチクルホルダー24およびレチクルステージ25がケーシング26によって外部の雰囲気と隔離され、このケーシング26の内部空間も不活性ガスでバージされている。

【0023】同様に、ウエハ32、ウエハホルダー27およびウエハステージ28がケーシング29によって外部の雰囲気と隔離され、このケーシング29の内部空間も不活性ガスでバージされている。なお、送光系22の光路中に配置されている光学部品35については後述する。また、光源21としてF<sub>2</sub>レーザーを用いている場合を想定し、図1を参照して検査装置の構成および動作を説明する。

【0024】図1に示す検査装置は、固体レーザーと高調波発生用結晶（またはファイバー等）とからなる光源1を備えている。光源1からは、F<sub>2</sub>レーザーの波長である157nmにほぼ等しい波長を有する光束が射出される。なお、光源1として、露光装置で用いられるF<sub>2</sub>レーザー光源を用いてもよい。光源1から射出された光束は、ミラー2によって偏向され、ビームエキスパンダーを構成するレンズ3、4、5、6によって拡大され、平行光束となって、偏光ビームスプリッター7に入射する。偏光ビームスプリッター7に入射する光束は、図1の紙面に平行な面に沿って偏光面を有する直線偏光である。

【0025】したがって、偏光ビームスプリッター7に入射した光束は、その偏光分離面を透過し、1/4波長板8に入射する。1/4波長板8の作用によって直線偏光から円偏光に変換された光束は、集光レンズを構成するレンズ9、10、11、12を介して、図中破線で示す仮想物体面13上に集光点13Cを形成する。なお、レンズ12の仮想物体面13側の面すなわち参照面12aは、ハーフミラーとなっており、所定のエネルギー割合で入射光束を反射する。また、参照面12aの曲率中心は、集光点13Cと一致している。

【0026】こうして、参照面12aへの光束の入射角は常に0度となるので、参照面12aで反射された光束は、集光レンズ（12、11、10、9）中を入射光束と同じ光路を辿りながら進み、平行光束に変換された後に、1/4波長板8に入射する。一方、仮想物体面13を通過した光束は、検査すべき光学系、たとえば投影光学系14（図2では参照符号31で示す）に入射し、投影光学系14の結像作用によって、図中破線で示す仮想像面15上に集光点15Cを形成する。集光点15Cを介して発散した光束は、集光点15Cを曲率中心とする球面状の反射面を有する凹面反射鏡16に入射する。

【0027】凹面反射鏡16で反射された光束は、集光点15Cに集光した後、投影光学系14を介して、仮想物体面13上の集光点13Cに集光する。集光点13Cを介した光束は、集光レンズ（12、11、10、9）によって平行光束に変換された後に、1/4波長板8に入射する。このように、参照面12aで反射された参照光と投影光学系14を往復した被検光とが、1/4波長板8に戻るようになる。ここで、1/4波長板8に入射する参照光および被検光はともに円偏光であるが、1/4波長板8から射出される参照光および被検光は、1/4波長板8の作用により図1の紙面に垂直な面に沿って偏光面を有する直線偏光に変換される。

【0028】こうして、1/4波長板8を介した参照光および被検光は、偏光ビームスプリッター7で反射され、たとえばCCD等の撮像素子17に導かれる。そして、撮像素子17の撮像面には、参照光と被検光との干渉縞が形成される。この干渉縞は参照光と被検光との位

相情報の差によって生じるものであり、この位相情報の差は被検光が投影光学系14を往復してその波面収差による位相変化を受けたことに起因する。したがって、上述の干渉縞を計測し、その変形量を解析することにより、被検光学系としての投影光学系14の波面収差を求めることができる。

【0029】なお、F<sub>2</sub>レーザーの波長である波長157nmの様な短波長の紫外線が良好に透過し且つ良好な均一性を有する光学材料は、現状では蛍石に限定されている。したがって、レンズ3, 4, 5, 6、偏光ビームスプリッター7、1/4波長板8、レンズ9, 10, 11, 12を形成する光学材料には、蛍石を使用することになる。この場合、前述したように、蛍石には短波長の光束に対して複屈折性がある。ただし、蛍石結晶の結晶軸[100]の方向、および結晶軸[111]の方向に進む光については、複屈折性(直交する偏光面を有する2つの光束間の屈折率差)は生じない。したがって、蛍石レンズの結晶軸[111]または[100]と光軸AX(ひいては蛍石レンズの光軸)とが一致するように設定すれば、光軸AXと平行に進む結像光に対して複屈折は生じないことになる。

【0030】実際には、レンズ3, 4, 5, 6、およびレンズ9, 10, 11, 12のいずれにおいても、その内部を透過する光束は開き角(NA)を有するため、わずかではあるが複屈折の影響を受けることになる。そこで、図3を参照して、蛍石のような立方晶系の結晶における結晶軸の名称などを説明する。立方晶系とは、立方体の単位胞がその立方体の各辺の方向に周期的に配列した結晶構造である。立方体の各辺は、相互に直交しており、これをXa軸、Ya軸、Za軸とする。このとき、Xa軸の+方向が結晶軸[100]の方向であり、Ya軸の+方向が結晶軸[010]の方向であり、Za軸の+方向が結晶軸[001]の方向である。

【0031】より一般的には、上記の(Xa, Ya, Za)座標系において方位ベクトル(x1, y1, z1)をとるとき、その向きが結晶軸[x1, y1, z1]の方向となる。たとえば、結晶軸[111]の向きは、方位ベクトル(1, 1, 1)の向きと一致する。また、結晶軸[11-2]の向きは、方位ベクトル(1, 1, -2)の向きと一致する。もちろん、立方晶系の結晶において、Xa軸とYa軸とZa軸とは、光学的にも機械的にも互いに全く等価であり、実際の結晶において何ら区別をつけることはできない。また、結晶軸[011], [0-11], [110]等のように3個の数字の並びおよびその符号を変えた各結晶軸も、光学的にも機械的にも全く等価(同等)である。

【0032】本発明では、相対的な結晶軸方位を厳密に定義する必要がある場合には、たとえば結晶軸[011]と光学的に等価な複数の結晶軸を、[011], [0-11], [110]などのように、符号や配列位

置を変えて表記(列記)する。しかしながら、相対的な結晶軸方位を厳密に定義する必要がない場合には、結晶軸[011]の表記をもって、[011], [0-11], [110]の様な複数の光学的に等価な結晶軸を一括的に表わすものとする。これは、結晶軸[001]や[111]等のように結晶軸[011]以外の他の結晶軸についても同様である。

【0033】これらの結晶軸方向のうち、結晶軸[100](またはこれと光学的に等価な結晶軸)の方向、および結晶軸[111](またはこれと光学的に等価な結晶軸)の方向に進む光に対しては、上述の通り複屈折は生じない。一方、これらの結晶軸方位から離れた方向に進む光に対しては、複屈折が生じる。そして、複屈折量は、結晶軸[011](またはこれと光学的に等価な結晶軸)の方向に進行する光に対して最大となる。このとき、結晶軸[100]の方向に偏光方向(電場方向)を有する光の屈折率n<sub>100</sub>と、結晶軸[0-11]の方向に偏光方向を有する光の屈折率n<sub>011</sub>との差は、結晶が蛍石であれば、波長が193nmのArFレーザー光に対しては $3.6 \times 10^{-7}$ 程度であり、波長が157nmのF<sub>2</sub>レーザー光に対しては $6.5 \times 10^{-7}$ 程度である。

【0034】図1の検査装置において、この複屈折の影響を実質的に回避するには、たとえば、レンズ3とレンズ4とをレンズペアとし、レンズ9と10とをレンズペアとする。そして、これら4つのレンズにおいて結晶軸[111]を光軸AXに一致させるとともに、各レンズペアにおいて一方のレンズを他方のレンズに対して光軸AXを中心に60度相対回転させて配置する。同様に、レンズ5とレンズ6とをレンズペアとし、レンズ11と12とをレンズペアとする。そして、これら4つのレンズにおいて結晶軸[100]を光軸AXに一致させるとともに、各レンズペアにおいて一方のレンズを他方のレンズに対して光軸AXを中心に45度相対回転させて配置する。このように、光軸と一致させる結晶軸の選定や、光軸を中心とした所定角度の回転の付与によって、蛍石レンズの複屈折の悪影響を実質的に除去することが可能である。

【0035】一方、偏光ビームスプリッター7にも、蛍石のような結晶材料を使用することになるので、この結晶材料の結晶軸の採り方によっては複屈折に起因する波面収差が発生してしまう。したがって、偏光ビームスプリッター7においても、複屈折の影響が実質的に生じないような結晶軸方向の選定が必要になる。図4は、偏光ビームスプリッターにおける結晶軸の選定を説明する図である。図4を参照すると、光源1(図4では不図示)からの光束は、図中上方から-Z方向に沿って偏光ビームスプリッター7に入射する。このとき、偏光ビームスプリッター7への入射光束は、YZ平面に平行な偏光面を有する直線偏光である。

【0036】なお、偏光ビームスプリッター7は、三角柱型の部材7aと部材7bとからなるキューブ型（直方体）のビームスプリッターである。そして、部材7aと部材7bとの接合面には、S偏光とP偏光とで反射特性および透過特性の異なる多層膜7cが形成されている。図中上方から-Z方向に沿って部材7aに入射したP偏光（YZ平面に平行な偏光面を有する直線偏光）の光束は、多層膜7cを透過して部材7bに入射する。そして、部材7bを透過し、図中下方へ-Z方向に沿って投影光学系14（図4では不図示）へ向かう。

【0037】一方、投影光学系14からの戻り光（被検光）は、図中下方から+Z方向に沿って部材7bおよび多層膜7cに入射する。このとき、偏光ビームスプリッター7への入射光束は、XZ平面に平行な偏光面を有する直線偏光（S偏光）である。したがって、多層膜7cに入射した被検光は、多層膜7cで+Y方向に反射され、撮像素子17（図4では不図示）へ導かれる。

【0038】以上のように、偏光ビームスプリッター7では、光束は直交する2方向（すなわちZ方向およびY方向）に進行するため、この直交する2方向について複屈折が生じないような結晶軸を選ぶ必要がある。複屈折の生じない結晶軸は、結晶軸[100]およびこれと光学的に等価な結晶軸（[010]、[001]、[-100]、[0-10]、[00-1]）である。したがって、本実施形態では、図4に示すように、偏光ビームスプリッター7において、光束の入射方向および光束の射出方向が結晶軸[100]（またはこの結晶軸と光学的に等価な結晶軸）と一致するように設定することにより、結晶材料の複屈折の悪影響を実質的に回避することができる。

【0039】なお、図4に示す例では、偏光ビームスプリッター7を構成する部材7a中を通る光束は、Z方向に平行な入射光束のみである。したがって、部材7aについては、光束の入射方向が結晶軸[111]（またはこの結晶軸と光学的に等価な結晶軸）と一致するように設定しても、複屈折の影響を実質的に受けない偏光ビームスプリッターを構成することができる。この場合、部材7aの入射側面が加工の容易な<111>面となるので、部材7aの加工や反射防止膜の形成の点で有利である。また、本実施形態では、偏光ビームスプリッター7に本発明を適用しているが、これに限定されることがなく、単なるビームスプリッターに本発明を適用することもできることは言うまでもない。

【0040】次いで、蛍石のような立方晶系の結晶材料を使用した1/4波長板8について説明する。図5は、1/4波長板における結晶軸の選定を説明する図である。図5（a）を参照すると、1/4波長板8では、光束の進行方向が結晶軸[011]（またはこの結晶軸と光学的に等価な結晶軸）と一致するように設定されている。偏光ビームスプリッター7側から1/4波長板8を

見た図である図5（b）を参照すると、図5（b）の紙面において水平方向に沿って偏光方向PDを有する直線偏光が入射する。

【0041】そこで、図5（b）に示すように、結晶軸[011]と直交する面内（すなわち図5（b）の紙面内）において、偏光方向PDに対してそれぞれ45度をなす方向に結晶軸[100]、[0-11]、[-100]、[01-1]が一致するように、結晶材料の回転方位（光束の進行方向と一致させた結晶軸[011]）を回転中心とした回転角を設定する。この場合、偏光方向PDから両側に45度離れた方向に偏光面を有する2つの偏光の屈折率が異なることになり、このような結晶光学素子は波長板としての機能を有することになる。

【0042】上述のように、結晶軸[011]の方向に進む光について、結晶軸[100]の方向の偏光の屈折率と、結晶軸[0-11]の方向の偏光の屈折率との差は、結晶が蛍石の場合、波長157nmのF<sub>2</sub>レーザー光に対して、 $6.5 \times 10^{-7}$ 程度である。その結果、結晶中の1cmの光路長に対して、6.5nmの光路差が生じる。したがって、光束の進行方向に沿った結晶の長さが24cm（ $=157/6.5$ ）程度であれば、この結晶は1波長板として機能することになる。また、光束の進行方向に沿った結晶の長さがその1/2の12cm程度の長さであれば、1/2波長板として機能する。さらに、光束の進行方向に沿った結晶の長さがその1/4の6cm程度の長さであれば、1/4波長板として機能する。

【0043】本実施形態の1/4波長板8は、この原理に基づくものであり、上述の結晶方位を有する蛍石の結晶を約6cmの長さに設定したものを1/4波長板8として使用している。以上の構成を有する1/4波長板8の作用により、入射した直線偏光が円偏光に変換されて射出される。1/4波長板8を介して形成された円偏光は、投影光学系14を透過した後凹面反射鏡16で反射され、この反射により逆回りの円偏光になって1/4波長板8に入射する。このとき、この逆回りの円偏光は、図5（b）の紙面において偏光方向PDと直交する方向に偏光方向を有する直線偏光に変換され、偏光ビームスプリッター7に向かって射出される。

【0044】なお、1/4波長板8の断面形状は、図5（b）に示す形態に限定されることがなく、その外形および結晶方位の回転関係が図5（b）から45度回転した形態、すなわち図5（c）に示す形態であっても良いことは言うまでもない。また、図1に示した検査装置では、構成要素として1/4波長板が必要であるため、光束の進行方向に沿った結晶の長さが約6cmの蛍石を使用しているが、これに限定されることがなく、構成要素として1/2波長板が必要な場合には光束の進行方向に沿った結晶の長さが約12cmの蛍石を使用すれば良い。

【0045】なお、上述のような波長板は、投影露光装

置においても重要な構成要素である。投影露光装置では、転写する回路パターンのパターン線幅の均一性を確保するために、極めて均一な照度でレチクル（マスク）を照明する照明光学系が必要である。しかしながら、光源としてレーザーを用いる場合、その高い干渉性のためにマスク面上に生じる干渉縞によって照度の均一性が悪化してしまう。これを解消するには、照明光学系中に波長板を設けて光源からの光束の偏光状態を制御し、レチクル上で干渉縞が形成されにくくするのが好ましい。

【0046】具体的には、図2に示すような投影露光装置の送光系22の光路中に、立方晶系に属する結晶材料からなる光学部材（結晶光学部品）35として、たとえば図5に示すような1/4波長板を設けることが好ましい。この構成により、レーザー光源21から射出された直線偏光が、1/4波長板35を介して円偏光に変換される。その結果、照明光束の干渉性を低減することができ、ひいてはレチクル33上の干渉縞を低減することができる。

【0047】図6は、投影露光装置の送光系の光路中に付設される結晶光学部品の変形例を示す図である。図6を参照すると、光学部材35は、立方晶系に属する結晶からなる部材35aと35bとから構成されている。ここで、光源側（図6（a）中下側）に配置された部材35aでは、図5に示す1/4波長板と同様に、光束の進行方向と結晶軸[011]とが一致している。そして、部材35aを光源側から見た図である図6（b）に示すように、入射光束の偏光方向IPに対してそれぞれ45度回転した方向に、結晶軸[100]、[0-11]、[-100]、[01-1]が一致するように、結晶材料の回転方位（光束の進行方向と一致させた結晶軸[011]を回転中心とした回転角）が設定されている。

【0048】したがって、部材35aは波長板として作用するが、その光束の進行方向に沿った長さが図6

（a）に示すように図中の左右で異なっているため、照明光束は左右で異なる偏光状態となって部材35aから射出され、部材35bに入射する。ここで、部材35bでは、光束の進行方向と結晶軸[111]とが一致しているため、複屈折作用が無い。このため、部材35aを射出した光束の偏光状態が保たれたまま、部材35bから射出される。部材35bからの射出光束は、照明光学系23を経てレチクル33を照明するが、この照明光束には様々な偏光状態が混在しているため、レチクル33上の干渉縞の生成を十分に小さく抑えることが可能になる。

【0049】この場合、部材35bは、必ずしも必要ではない。しかしながら、部材35bが無いと、照明光束が部材35aの射出端面で大きく屈折してしまうため、この屈折を抑えるために部材35bを設けた方がよい。また、光源側の部材35aにおいて光束の進行方向と結晶軸[111]とを一致させ、部材35bにおいて光束

の進行方向と結晶軸[011]とを一致させる構成としても、同様な波長板を形成することができることは言うまでもない。また、複屈折を生じさせない側の部材では、結晶軸[111]ではなく結晶軸[100]を光束の進行方向に一致させてもよい。

【0050】なお、上述の実施形態では、複屈折性の光学材料としてフッ化カルシウム結晶（蛍石）を用いているが、これに限定されることなく、他の一軸性結晶、たとえばフッ化バリウム結晶（ $\text{BaF}_2$ ）、フッ化リチウム結晶（ $\text{LiF}$ ）、フッ化ナトリウム結晶（ $\text{NaF}$ ）、フッ化ストロンチウム結晶（ $\text{SrF}_2$ ）、フッ化ベリリウム結晶（ $\text{BeF}_2$ ）など、紫外線に対して透明な他の結晶材料を用いることもできる。このうち、フッ化バリウム結晶は、すでに直径200mmを越す大型の結晶材料も開発されており、レンズ材料として有望である。この場合、フッ化バリウム（ $\text{BaF}_2$ ）などの結晶軸方位も本発明に従って決定されることが好ましい。

【0051】上述の各実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、各実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウエハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図7のフローチャートを参照して説明する。

【0052】まず、図7のステップ301において、1ロットのウエハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウエハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、各実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウエハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウエハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウエハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウエハ上の各ショット領域に形成される。

【0053】その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウエハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウエハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコ

ンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

【0054】また、各実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図8のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図8において、パターン形成工程401では、各実施形態の露光装置を用いてマスクの10 パターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0055】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した320 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等をを用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0056】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができ40 る。

【0057】また、上述の実施形態では、193nmの波長光を供給するArFエキシマレーザー光源や157nmの波長光を供給するF<sub>2</sub>レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば126nmの波長光を供給するArレーザー光源などを用いることもできる。

【0058】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、たとえば蛍石のような複屈折性の結晶材料を用いても、複屈

折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有するビームスプリッターおよび波長板を実現することができる。また、本発明では、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有するビームスプリッターや波長板のような結晶光学部品を備えた光学装置を得ることができる。この光学装置として、たとえば露光装置に搭載される投影光学系の波面収差を計測するための高精度な検査装置や、レチクル上の干渉縞の生成を十分に小さく抑えることのできる露光装置などを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態にかかる結晶光学部品を備えた検査装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の被検光学系としての投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図3】蛍石のような立方晶系の結晶における結晶軸の名称などを説明する図である。

【図4】偏光ビームスプリッターにおける結晶軸の選定を説明する図である。

【図5】1/4波長板における結晶軸の選定を説明する図である。

【図6】投影露光装置の送光系の光路中に付設される結晶光学部品の変形例を示す図である。

【図7】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

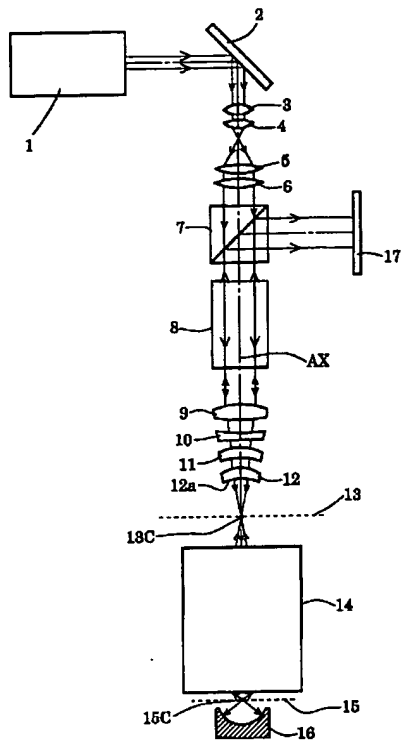
【図8】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【符号の説明】

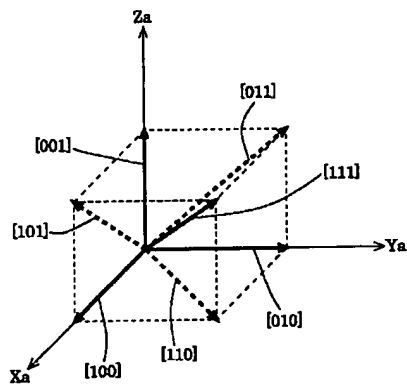
- 1 光源
- 2 ミラー
- 3, 4, 5, 6 ビームエキスパンダーを構成するレンズ
- 7 偏光ビームスプリッター
- 8 1/4波長板
- 9, 10, 11, 12 集光レンズを構成するレンズ
- 12a 参照面
- 13 仮想物体面
- 14, 31 投影光学系
- 15 仮想像面
- 16 凹面反射鏡
- 17 撮像素子
- 21 光源
- 22 送光系
- 23 照明光学系
- 25 レチクルステージ
- 28 ウエハステージ
- 26, 29 ケーシング
- 30 アライメント顕微鏡
- 32 ウエハ
- 33 レチクル



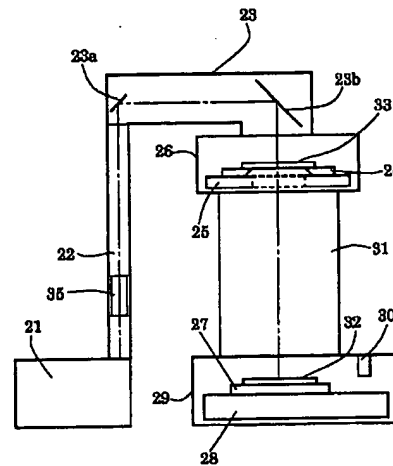
【図1】



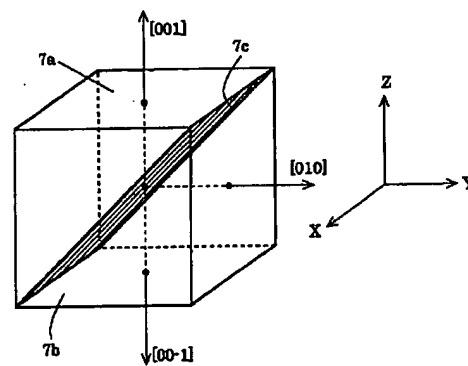
【図3】



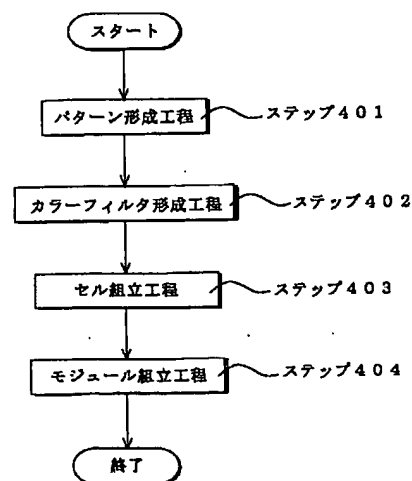
【図2】



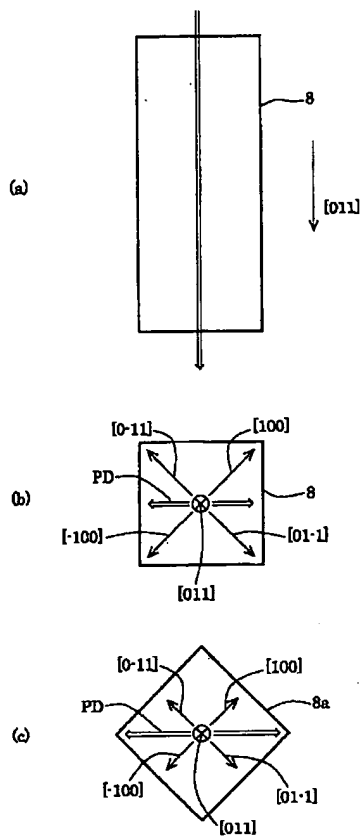
【図4】



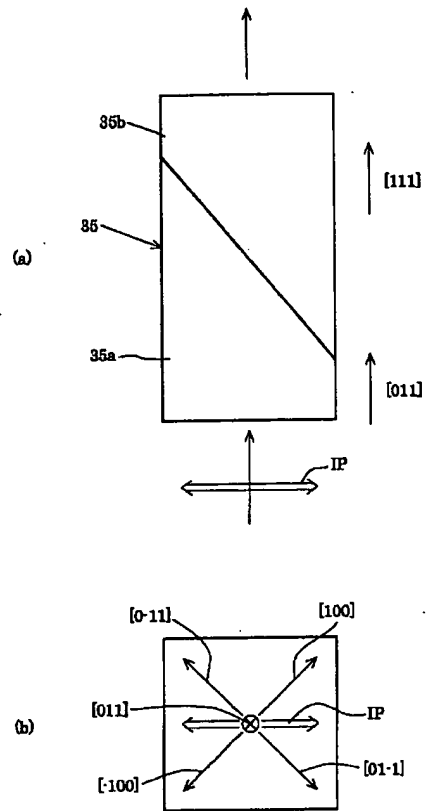
【図8】



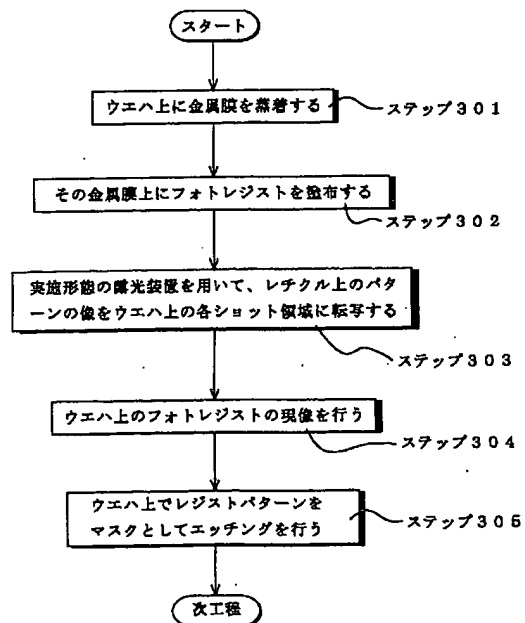
【図5】



【図6】



【図7】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	識別記号	F I	ターマコード (参考)
G 0 3 F 7/20	5 2 1	G 0 3 F 7/20	5 2 1
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 1 5 D

F ターム (参考) 2H042 CA06 CA14 CA18  
 2H049 BA05 BA06 BA07 BA42 B803  
 BB61 BC21  
 2H097 CA06 CA13 GB01 LA10 LA12  
 2H099 AA00 BA17 CA02 CA05 CA07  
 DA00  
 5F046 CB10 CB15